

音楽的文脈の認知を反映する 事象関連電位に及ぼす注意の効果

橋本 翠

(2011年10月6日受理)

The Effect of Attention on Event-Related Potentials in the Musical Context

Midori Hashimoto

Abstract: The present study investigated the effects of selective attention on the event-related brain potentials (ERPs) to a chord which violated the musical context. In the experiment, both musical chord sequences which contained infrequent Neapolitan six and 7th chords, and spoken old tales were presented simultaneously via speakers. In musical sequences 80% of chords were played on piano, and remaining randomly selected 20% were played on strings. In an attend-to-music condition, twelve participants selectively listened to the music stimuli, and counted chords played on strings. In an attend-to-speech condition, participants selectively listened to speech stimuli, and reported their contents after each story. Results showed that the early right-anterior negativity (ERAN), which is thought to be elicited by a harmonically unexpected chord, was observed only in the ERPs to the Neapolitan six chord in the attend-to-music condition. This indicated that selective attention was necessary for eliciting ERAN. It is suggested that how two types of expectation (schematic and veridical) would contribute to the buildup of musical context, and to the generation of ERAN should be studied further.

Key words: ERAN, harmony, selective-attention, schematic expectation, veridical expectation

キーワード: ERAN, ハーモニー, 選択的注意, 図式的期待, 事実的期待

はじめに

我々が音楽を聴くとき、意識はしていないが、メロディ（旋律）、リズム、音の高さ（ピッチ）、そしてハーモニー（和声）それぞれを知覚し、統合して音楽として認知している。音や和音は、単独では音楽の中でのそれぞれの役割を果たすことは難しい。音はさまざま

本論文は、課程博士候補論文を構成する論文の一部として、以下の審査委員により審査を受けた。

審査委員：宮谷真人（主任指導教員）、中條和光、湯澤正通

な高さやリズムをもって連続的に響くことでメロディとなり、複数の和音を時間的な流れに沿って、ある規則に基づいて並べることによりハーモニーが機能し、調性が決められる。このような流れを音楽的文脈と呼び、特に和音進行やハーモニーに限定した場合を調性文脈と呼ぶ（Koelsch, Gunter, Schröger, Tervaniemi, Sammler, & Friederici, 2001; Koelsch, Gunter, Schröger, & Friederici, 2003）。和音進行やハーモニーにはその調に属する和音のみで構成されなくてはならないという音楽理論上の規則があり、このような音楽的文脈における規則は、言語における文法と類似していることから音楽的構文と呼ばれる（Koelsch et al.,

2001; Koelsch, Gunter, Wittfoth, & Sammler, 2005)。

音が音楽となり得る、つまり文脈を形成するためにはいくつかのプロセスが必要である。まず、少なくとも2つ以上の関係性の近い音が聴こえる必要がある。これらの音がいろいろな高さトリズムをもって連続的に響くとメロディとなり、同時に聴こえれば和音となる。さらにその和音が連続することでハーモニーとして機能し、調性が確立される。

西洋音楽のもつ調性機能においては、和音を構築していくとき、最初に、1オクターブの間にある12個の音から7つの音で構成される音階が抽出される。次に、それぞれの音階の音について、関係性の近い音階が重なり合い、和音が組み立てられる。そして、最後に音階を構成する音と和音に基づき、調(キー)が決定される。音階や和音を共有する調同士は互いに関係していると言われ、その関係の強さは共有する音階や和音の数に依存する(Tillmann, Bharucha, & Bigand, 2001)。また、ある調において、それぞれの音階や和音は、異なる機能を持つとされる。トニック(主和音)、ドミナント(属和音)、サブドミナント(下屬和音)などが主な機能であり、これらは主要三和音と呼ばれる。これらは音楽理論において重要とされており、頻繁に出てくる和音は、その調の中でより安定的であると認識されることが分かっている(Krumhansl, 1979)。

音楽聴取者にある特定の和音を1つ呈示すると、それに後続する和音(ターゲット刺激)との関係が近い場合には、関係が遠い場合に比べて、ターゲット刺激が長調か短調かといった反応が促進される(Bharucha & Stoeckig, 1986, 1987; Tekman & Bharucha, 1992, 1998)。つまり、1つの和音を聴取することによって、その和音と関係性の近い和音の出現が期待される。このような期待を音楽的期待と呼び、この効果を local context effect と呼ぶ。

また、Bigand & Pineau (1997) は、8つの和音で構成された和音進行の最初の6つをプライミング刺激とし、最後の2つの和音をターゲット刺激としてそのターゲット音が期待どおりであったかどうかについて聴取者に判断してもらう課題を行った。その結果、関係性の遠い和音と比較して、関係性の近い和音に対する反応が促進され、彼らは、この効果を global context effect と名付けた。これら2つの効果を比較すると、local context effect よりも global context effect においてより大きな反応の促進が見られる(Tillmann & Bigand, 2001)。

他にもプライミング刺激と和音として近い関係にあるターゲット刺激への反応の促進が確認されている

(Tillmann, Janata, & Bharucha, 2003; Tillmann, Janata, Brik, & Bharucha, 2008)。これらの研究結果の説明として、Bharucha (1987a, b) の活性化拡散モデル(spreading activation model)がある。このモデルによれば、音の構造や音楽的構文に関する学習が一度生じると、音階、和音、調性の3つの階層によってネットワーク内の結合が構築される。そして、この長期記憶に保持されたスキーマによって活性化拡散が生じると考えられている。

この活性化は、和音を聴取するとネットワーク内で繰り返し強められ、関係の近い和音のユニットに対してより強く期待するようになる。さらに和音進行を聴取していくと、その進行とともにそれぞれの和音に対する活性化が相互作用し、その相互作用の過程で最新の情報に対して活性化を増していく。つまり、和音が進行するにつれ、調性に関する期待が自動的に活性化されていくことを意味する。

音楽的文脈の認知や形成に関して、行動測定に基づく研究に加え、事象関連電位(event-related potential: ERP)を用いた心理生理学的研究も行われている。例えば、Koelsch, Gunter, Friederici, & Schröger (2000) は、音楽的な訓練を特に受けていない“普通の”成人に5つの連続する和音からなる刺激を聴かせた。全刺激の50%では、すべての和音が特定の調を形成するものであったが、25%では3番目とその調から逸脱した“ナポリの六”と呼ばれる和音に置き換えられ、残りの25%では、5番目がナポリの六和音であった。和音はピアノの音で作成されたが、そのうち10%(逸脱和音を除く)が、マリンバやギターなど、他の音色に置き換えられた。参加者の課題は、ピアノ以外の音色の和音の数を数えることであった。その結果、彼らは、先行する音楽文脈から逸脱した和音が惹起する2つの陰性電位を報告した。1つは、ERAN (early right-anterior negativity) と呼ばれる右半球の前頭部優勢な陰性電位で、潜時約200msで振幅が最大となる。もう1つがN5で、両側の前頭部で広く出現し、潜時約550msで最大となる。ERANは、音楽的予期の逸脱、あるいは音楽的構文の処理を反映し、N5は崩壊した調性の統合プロセスを反映する陰性電位である(Koelsch, Schröger, & Gunter, 2002)と考えられている。

このERANについて、出現に注意が必要かどうかに関する検討が行われている。Koelsch et al. (2001) は、参加者がビデオゲームを行っている条件でもERANが観察されると報告した。また、Koelsch et al. (2002) も、参加者自身が選んだ本を読んでいる条件でERANの出現を観察した。さらに、Loui, Grent-

't Jong, Torpey, & Woldorff (2005) は、かなりの注意配分を必要とするような文章を読む課題を行なわせた場合でも ERAN が出現したと報告している。これらの研究結果は、参加者が視覚刺激に注意を向け、聴こえてくる全ての和音配列を無視している場合でも、和音の進行によって音楽的文脈が形成され、その文脈から逸脱した和音刺激を検出することが可能であることを示している。

また、Maidhof & Koelsch (2011) は、音楽とは異なる聴覚刺激に対して注意を向けた場合の ERAN 成分について検討した。刺激として音楽刺激と言語刺激があり、音楽刺激はピアノによる5つの和音の進行、言語刺激は女性が読み上げる短いドイツ語の文であった。音楽刺激には5番目の和音が先行文脈から逸脱する条件としない条件があり、言語刺激には文法的に正しい（例：Das Baby wurde gefüttert. / The baby was fed.）条件と正しくない（例：Die Gans wurde im gefüttert. / The goose was in-the fed.）条件があった。音楽刺激にも言語刺激にも、周波数フィルター処理により聴こえ方の異なる和音または単語が全体の10%含まれていた。参加者は、そのどちらかを聴き、音色の異なる刺激が出現したときにボタンを押して反応した。音楽刺激と言語刺激はスピーカによって同時に呈示され、参加者は、そのどちらかに注意を向け、もう一方を無視するように教示された。また、音楽刺激または言語刺激が単独で呈示される条件もあった。各条件で記録された ERAN を比較したところ、音楽刺激が単独で呈示される条件に比べて、音楽刺激と言語刺激が同時に呈示される条件では、ERAN の振幅が減衰したが、音楽刺激と言語刺激のどちらに注意を向けるかは、ERAN に影響しなかった。これも、ERAN の発生に選択的注意は必要ないことを示す結果であると言える。

しかし、これらの研究から、選択的注意は ERAN に全く影響しないと結論することはできない。Maidhof & Koelsch (2011) では、2種類の聴覚刺激のどちらに注意を向けるかにかかわらず、同程度の ERAN が出現した。しかし、彼らの実験事態では、無視すべき刺激に対しても注意が向けられた可能性がある。1つには、言語刺激が短い文の連続であり、しかも文の意味に関する処理は求められていなかった。また、参加者は音楽刺激にも言語刺激にも文脈から逸脱する刺激が含まれることをあらかじめ教示されおり、しかも言語刺激における逸脱は必ず和音の逸脱が起こりうる第5音と同じタイミングで生じるように設定されていた。これらの理由で、たとえ言語刺激に注意を向ける条件であっても、文と文の間に音楽刺激の

方に注意を切り替えたり、文法的逸脱によって音楽刺激の逸脱の有無に注意が向いたりするなど、音楽刺激が十分には無視されていなかったかもしれない。

そこで、本研究では、Maidhof & Koelsch (2011) と同様2種類の聴覚刺激のどちらかを実験参加者に聴取させる事態で、以下の工夫をして ERAN 惹起に対する注意の効果を再検討した。まず、言語刺激として、短文ではなく、意味的なまとまりのある物語の朗読を使用した。そして、音楽刺激と朗読刺激をほぼ同じ方向のスピーカから同時に呈示し、朗読を聴き取る際により注意が必要となるようにした。音楽刺激に注意を向けて音色の異なる和音を検出する課題を課す音楽注意条件と、音楽刺激は無視して朗読に注意を向け、朗読の内容を理解することを求める音楽無視条件の間で ERAN を比較した。ERAN が両条件で観察できれば、ERAN が前注意的に出現するという従来の研究の知見が強化され、音楽注意条件のみで出現すれば、ERAN の発生には選択的注意が必要であるという新しい知見が提供できる。

方 法

実験参加者 19歳から23歳の成人12名（うち4名女性、平均年齢21.8歳）が実験に参加した。いずれの参加者も、本実験の課題を遂行するのに十分な視力と聴力を有していた。また、学校教育以外の専門的な音楽教育は受けていなかった。実験開始前に参加者全員に、実験について紙面および口頭にて説明をした上で了解を得た。

刺激 実験刺激としての音楽は、4つの声部によって構成された5つの和音による和音進行で、1—4番目の和音の刺激呈示時間は600ms、5番目の和音呈示時間は1,200msであった。刺激は、32種類の異なる和音進行を無作為順に配した計160個の和音を1試行とし、5試行で1ブロックとした。和音と和音、または和音進行と和音進行との間に無音部はなく、1つの和音、あるいは和音進行の呈示後、連続して次の刺激を呈示した。

音楽刺激条件として、逸脱のない標準条件（図中では in-key と表記）、ナポリの六条件（Neapoli）、および7th条件の3つがあった。全和音進行のうち、50%がある音階内のみの音からなる和音進行に基づいた逸脱のない和音進行（標準条件）、25%が和音進行の3番目にナポリの六または7thコード（以下、Neapoli/3rd or 7th/3rd）を配置した和音進行、25%が和音進行の5番目にナポリの六または7thコード（以下、Neapoli/5th or 7th/5th）を配置した和音進

行であった。なお、すべての和音進行はトニックで始まり、2番目にトニック、サブメディアント、サブドミナント、メディアントのいずれかを、3番目にサブドミナント、ナポリの六または7thコードのいずれかを、4番目にドミナント7th、5番目にトニック、ナポリの六または7thコードのいずれかを配した(Figure 1)。さらに全和音の20%を、ピアノ以外の音色(ストリングス)に置き換えた。

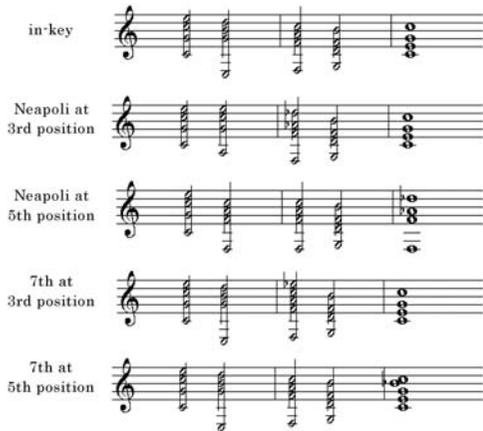


Figure 1. Samples of stimulus chord sequence.

朗読刺激として、男性の声で朗読された日本の昔話10種類①風呂のぬかだんご、②三年寝太郎、③助けた鶴の恩返し、④墓をくずしたたたり、⑤へびきりとうげ、⑥とうふとおみそのけんか、⑦かえるのおぼうさん、⑧人をくわなくなった鬼、⑨殿様とタイの塩焼き、⑩美しい山姫を用いた (<http://hukumusume.com/douwa/pc/minwa/index.html>, 2011年5月23日)。一話はおよそ2分間であった。

実験装置 刺激は、眼前60cmの距離に並べて置いた2つのスピーカ(S-NM5-LR, Pioneer製、1つは音楽刺激用、もう1つは朗読刺激用)から呈示した。音楽刺激は、音楽作成ソフト“singer song writer 8.0VS”のMIDIによってピアノの音色、もしくはストリングスの音色を用いて作成した。刺激呈示の制御と、ERP分析のために必要なトリガー信号の制御には、Psychology software Tool, Inc.製E-primeを使用した。

条件と課題 同時に聴取する音楽刺激と朗読刺激のうち、音楽刺激に注意を向ける条件を音楽注意(図中では、Attended)条件、朗読刺激に注意を向ける条件を音楽無視(Unattended)条件とした。

実験参加者の課題は、音楽注意条件では、朗読刺激

を無視し、音楽刺激を聴取して、ピアノ以外の音色(ストリングス)の数を数えることであった。また、音楽無視条件では、音楽刺激を無視し、朗読刺激を聴取して、朗読の内容を理解することであった。参加者は、各試行終了後に、ピアノ以外の音色の数を紙面で報告するか、朗読の内容に関する質問紙に答えた。

手続き 実験は個別に行なわれた。参加者は、脳波測定用の電極キャップを装着した後、椅子に座り、顔面固定台に頭部を固定し、目からモニターまでの距離を60cmに保つようにした。

2つの注意条件別にそれぞれ4ブロック実施した。1ブロックは5試行から成り、音楽注意条件、音楽無視条件とも10試行ずつであった。これらの試行はランダムな順序で施行した。各試行では、同時に聴こえてくる種類の異なる2つの聴覚刺激のどちらかに注意を向けてそれぞれの課題を行い、課題遂行中は画面中央に呈示した凝視点を見つめるように教示した。

実験参加者には、ピアノ以外の音色の存在のみ伝え、ナポリの六のコードおよび7thコードの存在や性質については伝えなかった。1ブロックごとに適度な休憩を挟み、各試行は参加者のペースで開始された。

脳波の記録および分析 脳波は、Ag/AgCl電極を用い、国際式10%法に基づく13部位(Fp1, Fp2, F7, F8, F3, F4, C3, C4, FT7, FT8, Fz, Cz, Pz)から導出した。瞬き等を監視するため同時に左眼窩下縁より眼電図も記録した。鼻尖にも電極を置いた。脳波および眼電図は、デジタル脳波計(日本光電製, Neurofax EEG-1100)により増幅し、サンプリング周波数200Hzで記録した。電極インピーダンスは5kΩ以下とした。

記録した脳波および眼電図について、高帯域遮断30Hz、低帯域遮断0.08Hzのフィルターをかけ、鼻尖が基準電極となるように再計算した。ERPは、瞬き等による顕著なアーチファクト($\pm 80 \mu V$ 以上の電位)のない試行について、音刺激呈示前100msから呈示後600ms間を加算平均することにより、注意条件(音楽注意、音楽無視)と刺激条件(in-key/3rd, in-key/5th, Neapoli/3rd, Neapoli/5th, 7th/3rd, 7th/5th)を組み合わせた12の条件別に算出した。

統計分析には反復測定分散分析を用い、多重比較についてはTukeyのHSD法を用いた。有意水準は.05に設定した。

結果

行動指標 音色検出課題の正答率($\pm SD$)は、93.7%(± 11.3)、朗読の内容理解課題は、92.2%(± 3.6)

であった。

ERP Figure 2に、F3とF4で記録された各条件のERP総加算平均波形を示す。3番目の位置に逸脱がある条件の波形 (Figure 2の上半分) の視察によると、標準条件 (in-key) における波形との違いとして、刺激呈示後最初の陰性電位がナポリの六和音に対する波形 (Neapoli) において高振幅であること、音楽注意条件では、頂点潜時約130msの陽性方向への振れがナポリの六波形と7th波形の両方で高振幅であること、刺激呈示後2つ目の陰性電位がナポリの六波形において遅れて出現していることを挙げることができる。

また、5番目の位置に逸脱がある条件の波形 (Figure 2の下半分) では、標準波形との違いとして、ナポリの六和音に対する波形において、最初の陰性電位が高振幅であること、頂点潜時約140msの陽性方向への振れが高振幅であること、音楽無視条件の頂点潜時200ms付近の陰性電位が遅れて出現しているように見えること、音楽注意条件のF4において、頂点潜時約340msの陰性方向への振れが出現しているこ

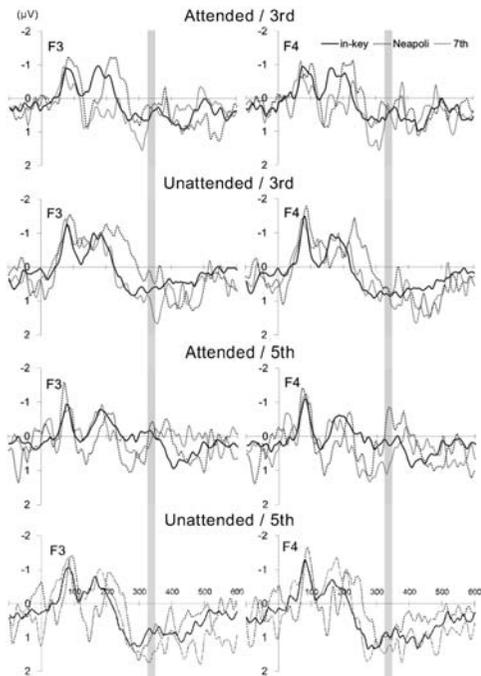


Figure 2. Grand mean ERP waveforms ($N=12$) at F3 (left side) and F4 (right side) sites. The thick lines represent ERPs to in-key, dot lines (thick) to Neapoli and dot lines (thin) to 7th. Negativity is up (μV).

とが挙げられる。また、音楽無視条件のF4で記録された7th和音に対する波形では、標準波形に比べて、2つ目の陰性電位が高振幅となっている。

これらの観察のうち、統計的な支持が得られたのは、5番目のナポリの六逸脱和音に対して、音楽注意条件のF4部位で出現した頂点潜時340ms付近の陰性電位変動のみであった。具体的には、刺激後330—350msの区間平均電位を算出し、注意条件2 (音楽注意、音楽無視) × 刺激条件3 (標準、ナポリ、7th) × 導出部位2 (F3, F4) の3要因反復測定分散分析を行なった。その結果、注意条件の主効果 ($F(1, 11)=8.21, p<.05$)、および注意条件 × 音刺激 × 導出部位の交互作用 ($F(2, 22)=4.17, p<.05$) が有意であった。下位検定の結果、音楽無視条件 ($1.1\mu V$) よりも注意条件 ($0.0\mu V$) で、ERPはよりネガティブであった。また、F4から導出されたERPでは、注意条件において標準刺激 ($0.2\mu V$) よりもナポリ刺激 ($-0.7\mu V$) に対してよりネガティブであり、ナポリ刺激に対しては、音楽無視条件 ($1.0\mu V$) よりも音楽注意条件 ($-0.7\mu V$) で、よりネガティブであった。

3番目の位置の和音に対するERPについて、330—350msの区間平均電位を算出し、注意条件2 (音楽注

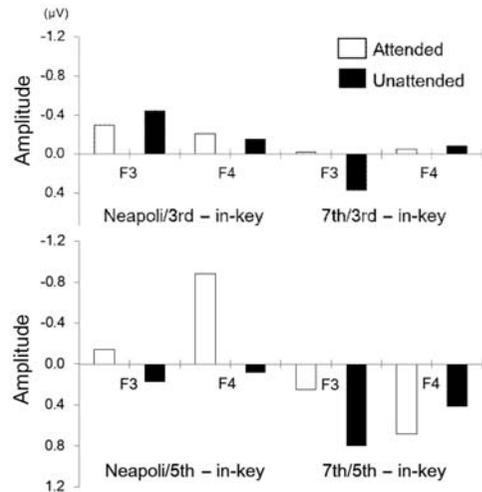


Figure 3. Mean amplitudes between 330-350ms after the stimulus onset of the difference waves obtained by subtracting in-key-ERP from Neapoli-ERP and by subtracting in-key-ERP from 7th-ERP. Amplitude between attention conditions and between F3 and F4 sites are compared. Upper and lower panel shows waves for 3rd codes and for 5th codes, respectively

意、音楽無視)×刺激条件3(標準, ナポリ, 7th)×導出部位2(F3, F4)の3要因反復測定分散分析を行った。その結果、刺激条件×導出部位の交互作用が有意傾向であった($F(2, 22)=2.66, p<.09$)が、注意条件及び刺激条件の主効果は有意でなかった。

Figure 3に、ナポリ和音に対するERPから標準刺激に対するERPを引き算した差分波形、および7th和音に対するERPから標準和音に対するERPを引き算した差分波形の、330–350ms潜時帯の区間平均電位を示す。集計は、3番目の和音および5番目の和音に対するERPそれぞれについて、注意条件および導出部位(F3, F4)別に行った。音楽注意条件の5番目の和音に対するF4の差分波形の陰性電位が大きいことがわかる。なお、5番目の7th和音に対するERPが、標準刺激ERPに対して陽性にシフトしているように見えるが、統計的に有意な差ではなかった。

考 察

本研究の目的は、ERAN惹起に注意が必要であるかどうかを確かめることであった。音楽注意条件の5番目の逸脱和音に対するF4導出のERPにおいて、刺激後約340msを頂点とした陰性成分が出現した。この陰性電位は、朗読刺激に注意を向ける音楽無視条件では出現せず、またF3で記録されたERPでは、注意条件にかかわらず観察できなかった。

従来の研究で報告されたERAN成分の出現潜時は、170–220ms(Koelsh et al., 2000)、250ms付近(Koelsh & Mudler, 2002)、230ms付近(Steinbeis, Koelsch, & Sloboda, 2006)と、340msに比べてかなり短い。しかし、Patel, Gibson, Ratner, Besson, & Holcomb (1998)が、音が普通に聞こえるか「奇妙に」聞こえるかを各参加者の基準に基づいて判断させるという課題において、逸脱和音に対して潜時350ms付近でERAN様の成分が出現したことを報告したように、課題の性質によりERANの出現潜時は変化する可能性がある。右半球優勢に出現していること、文脈形成が十分でない3番目の位置の逸脱和音に対しては観察できず、5番目の位置ではっきりと出現していること、調からの逸脱感をもたらさない7th和音に対しては出現せず、ナポリの六和音に対してのみ出現していることを考えると、音楽注意条件のナポリの六和音に対するF4のERPで観察された頂点潜時約340msの陰性電位は、ERANであると考えられる。

本研究におけるERANは、音楽注意条件のみで出現し、音楽無視条件では観察できなかった。この結果は、音楽注意条件と言語注意条件の両方で同程度の

ERANを観察したMaidhof & Koelsch (2011)の結果とは一致しなかった。この理由として、用いた刺激や呈示方法の違いが考えられる。本研究では、昔話の朗読を聴かせ、内容を理解するよう指示した。これは、彼らの実験で用いた短文刺激よりも言語刺激に対する持続的な注意をより必要とする課題であった。また、彼らは、音を参加者の正面から左右20°の異なる位置から聞こえるよう呈示したが、本研究では、音楽刺激、朗読刺激とも参加者の正面から呈示した。そのため、どちらかの刺激に注意を向ける時、空間的掛かりがない分、より困難であったと考えられる。

このように、本研究では、先行研究とは異なり、他の刺激に注意を向けることにより、逸脱和音に対するERANが惹起しない場合があることが示された。これは、日常生活において、音楽を聴きながら勉強している時、勉強の内容に注意を向けてはいても何となく音楽の進行も理解できるが、難しい問題を解くのに集中すると、音は耳から入っていてもそれが音楽として聴かれることはなくなる、というような経験に対応する。これまで、音楽的文脈に関するERP研究では、ミスマッチ陰性電位(mismatch negativity: MMN)も指標としてよく用いられてきた。MMNとERANがそれぞれ反映する心的過程の異同についての検討も行われてきた(Koelsch, 2009; Koelsch et al., 2001)。MMNは、反復呈示される聴覚刺激(標準刺激)の中に低頻度に出現する逸脱刺激によって生じる前頭部優勢な陰性成分である(Näätänen, Paavilainen, Rinne, & Alho, 2007)。従来からの多くの研究で明らかのように、刺激に注意を向けていなくてもMMNは出現し(Näätänen, Pakarinen, Rinne, & Takegata, 2004; Näätänen, Tervaniemi, Sussman, Paavilainen, & Winkler, 2001)、注意操作による大きな影響を受けない(Gomes, Molholm, Ritter, Kurtzberg, Cowan, & Vaughan, 2000; Grimm & Schroger, 2005; Sussman, Kujala, Halmetoja, Lyytinen, Alku, & Näätänen, 2004)。Sussman (2007)は、注意操作によるMMN振幅の減衰を報告しているが、その原因は、逸脱刺激に対するERPの変化ではなく、標準刺激の表象の形成に及ぼす注意の効果であることを示唆している。すなわち、これらの研究結果から、MMNは、注意の影響を受けにくい過程を反映すると考えられている(Koelsch, 2009)。

ERANも、従来の見解ではMMNと同様前注意的過程を反映すると考えられている。ただし、MMNが先行する刺激によって短期間で形成される記憶表象に基づく逸脱検出機構の働きと関連するのに対し、ERANの逸脱検出は、聴取者の脳内に長期記憶とし

て蓄えられた調性システム（長調，短調）の表象に基づく（Koelsch, 2009; Koelsch et al., 2002）という違いがある。しかし，本研究では，ERAN が出現するには，前注意的過程の機能だけでは十分でなく，選択的注意を必要とする認知処理が関与する可能性が示唆された。ERAN の出現に選択的注意は不要と主張した先行研究では，Maidhof & Koelsch (2011) を除いて，視覚刺激に注意を向けた状況を非注意条件としていた。この状況では，聴覚刺激に注意が向いていないことが保証されず，聴覚刺激についても何らかの処理が行われていた可能性がある。また，2種類の聴覚刺激を用いてERANに及ぼす注意の効果を検討したMaidhof & Koelsch (2011) においても，目的で述べたように，注意の操作が十分とはいえない。今後，ERAN の発生に関わる過程のどこが注意を必要とするのか，本研究のようにERANが遅れて（長潜時）で出現する理由は何かなどについて，検討が必要である。

その際，ハーモニーの構築過程で生み出される期待には2種類あることを考慮する必要がある。現在に至るまで，一般的な西洋音楽文化における聴き手は，西洋音楽内で用いられてきた基本的な規則に準じた文脈を期待するようになってきた。これには，図式と呼ばれる心的構造のメカニズムが関与していると考えられている（Dowling & Harwood, 1986）。図式とは，繰り返し経験される事柄に対する心的処理を決まった処理パターンとして表現した処理機構のことである。例えば，あるジャンルの音楽に長期間曝されることにより，その処理の仕方が同一化（assimilation）してくるような場合がある。しかし，一方で，何度も聴いて耳に馴染んだ曲の中にも，新奇性や逸脱感を生じるような和声進行がありうる。この現象を説明するために，図式的期待と事實的期待と呼ばれる2種類の期待が仮定されている（Bharucha, 1994）。図式的期待とは，図式，すなわち具体的な事象に物事に個別化されていない一般的な構造をもった心的表現に基づく期待であり，例えばBharucha (1984, 1987a, b) は，音楽の構造や音楽的構文に関する学習によって形成される，音階，和音，調性の3つの階層からなるネットワークと，それに基づく活性化拡散の概念を提唱している。一方，事實的期待とは，聴き手が聴き慣れた曲における演奏の間違いに気付く場合のように，個々人の記憶表象に基づいて形成されるものである。本研究のような事象で，これら2種類の期待がどのように形成されるのか，2種類の期待と注意とがどのように関連するのか，またERANはどちらの期待に基づいて出現するのかといった視点からの研究を進めることによって，ハーモ-

ニーの形成や認知の仕組みについて，さらに有意義な知見を得ることが期待できる。

【引用文献】

- Bharucha, J. J. (1984). Event hierarchies, tonal hierarchies, and assimilation: A reply to Deutsch and Dowling. *Journal of Experimental Psychology: General*, *113*, 421-425.
- Bharucha, J. J. (1987a). MUSACT: A connectionist model of musical harmony. In *Proceedings of 9th annual conference of cognitive science society*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum. pp. 508-517.
- Bharucha, J. J. (1987b). Music cognition and perceptual facilitation: A connectionist framework. *Music Perception*, *5*, 1-30.
- Bharucha, J. J. (1994). Tonality and expectation. In R. Aiello & J. A. Sloboda (Eds.), *Musical perceptions*. New York: Oxford University Press. pp. 213-239.
- Bharucha, J. J., & Stoeckig, K. (1986). Reaction time and musical expectancy: Priming of chords. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *12*, 403-410.
- Bharucha, J. J., & Stoeckig, K. (1987). Priming of chords: Spreading activation or overlapping frequency-spectra? *Perception & Psychophysics*, *41*, 519-524.
- Bigand, E., & Pineau, M. (1997). Global context effects on musical expectancy. *Perception & Psychophysics*, *59*, 1098-1107.
- Dowling, W. J., & Harwood, D. L. (1986). *Music cognition*. San Diego: Academic Press.
- Gomes, H., Molholm, S., Ritter, W., Kurtzberg, D., Cowan, N., & Vaughan, H. G., Jr. (2000). Mismatch negativity in children and adults, and effects of an attended task. *Psychophysiology*, *37*, 807-816.
- Grimm, S., & Schröger, E. (2005). Preattentive and attentive processing of temporal and frequency characteristics within long sounds. *Cognitive Brain Research*, *25*, 711-721.
- Koelsch, S. (2009). Music-syntactic processing and auditory memory: Similarities and differences between ERAN and MMN. *Psychophysiology*, *46*, 179-190.
- Koelsch, S., Gunter, T., Friederici, A. D., & Schröger, E. (2000). Brain indices of music processing: "Nonmusicians" are musical. *Journal of Cognitive*

- Neuroscience*, **12**, 520–541.
- Koelsch, S., Gunter, T., Schröger, E., & Friederici, A. D. (2003). Processing tonal modulation: An ERP study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **15**, 1149–1159.
- Koelsch, S., Gunter, T., Schröger, E., Tervaniemi, M., Sammler, D., & Friederici, A. D. (2001). Differentiating ERAN and MMN: An ERP study. *NeuroReport*, **12**, 1385–1389.
- Koelsch, S., Gunter, T., Wittfoth, M., & Sammler, D. (2005). Interaction between syntax processing in language and in music: An ERP study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **17**, 1565–1577.
- Koelsch, S., & Mulder, J. (2002). Electric brain responses to inappropriate harmonies during listening to expressive music. *Clinical Neurophysiology*, **113**, 862–869.
- Koelsch, S., Schröger, E., & Gunter, T. (2002). Music matters: Preattentive musicality of the human brain. *Psychophysiology*, **39**, 38–48.
- Krumhansl, C. L. (1979). The psychological representation of musical pitch in tonal context. *Cognitive Psychology*, **11**, 346–374.
- Loui, P., Grent't Jong, T., Torpey, D., & Woldorff, M. (2005). Effects of attention on the neural processing of harmonic syntax in Western music. *Cognitive Brain Research*, **25**, 678–687.
- Maidhof, C., & Koelsch, S. (2011). Effects of selective attention on neurophysiological correlates of syntax processing in music and speech. *Journal of cognitive Neuroscience*, **23**, 9, 2232–2247.
- Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T., & Alho, K. (2007). The mismatch negativity(MMN) in basic research of central auditory processing: A review. *Clinical Neurophysiology*, **118**, 2544–2590.
- Näätänen, R., Tervaniemi, M., Sussman, E., Paavilainen, P., & Winkler, I. (2001). 'Primitive intelligence' in the auditory cortex. *Trends in Neuroscience*, **24**, 283–288.
- Näätänen, R., Pakarinen, S., Rinne, T., & Takegata, R. (2004). The mismatch negativity(MMN): Towards the optimal paradigm. *Clinical Neurophysiology*, **115**, 140–144.
- Patel, A. D., Gibson, E., Ratner, J., Besson, M., & Holcomb, P. (1998). Processing syntactic relations in language and music: An event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **10**, 717–733.
- Steinbeis, N., Koelsch, S., & Sloboda, J. (2006). The role of harmonic expectancy violations in musical emotions: Evidence from subjective, physiological, and neural responses. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **18**, 1380–1393.
- Sussman, E. S. (2007). A new view on the MMN and attention debate: The role of context in processing auditory events. *Journal of Psychophysiology*, **21**, 164–170.
- Sussman, E., Kujala, T., Halmetoja, J., Lyytinen, H., Alku, P., & Näätänen, R. (2004). Automatic and controlled processing of acoustic and phonetic contrasts. *Hearing Research*, **190**, 128–140.
- Tekman, H. G., & Bharucha, J. J. (1992). Time course of chord priming. *Perception & Psychophysics*, **51**, 33–39.
- Tekman, H. G., & Bharucha, J. J. (1998). Implicit knowledge versus psychoacoustic similarity in priming of chords. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **24**, 252–260.
- Tillmann, B., Bharucha, J. J., & Bigand, E. (2001). Implicit learning of regularities in western tonal music by self-organization. In R. M. French & J. P. Sogne (Eds.), *Connectionist models of learning, development and evolution: Proceedings of the sixth neural computation and psychology workshop*. Liège, Belgium, 16–18 September 2000. Springer. pp. 175–184.
- Tillmann, B., & Bigand, E. (2001). Global context effect in normal and scrambled musical sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **27**, 1185–1196.
- Tillmann, B., Janata, P., & Bharucha, J. J. (2003). Activation of the inferior frontal cortex in musical priming. *Cognitive Brain Research*, **16**, 145–161.
- Tillmann, B., Janata, P., Brik, J., & Bharucha, J. J. (2008). Tonal centers and expectancy: Facilitation or inhibition of chords at the top of the harmonic hierarchy? *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, **34**, 1031–1043.